УДК 332.144+332.145

У статті запропоновано модель та метод оптимізації планів реконструкції та розвитку парку ГПА. Задача представлена багатокритеріальною немарківською динамічною моделлю з алгоритмічними та аналітичними цільовими функціями та обмеженнями. Запропонований метод вирішення базується на методі неявного перебору та методі обмежень для пошуку компромісних рішень.

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ РЕКОНСТРУКЦИИ И РАЗВИТИЯ ПАРКА ГПА

И.В. Кононенко
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой стратегического управления
Национального технического университета
«Харьковский политехнический институт»,
Конт. тел. (057)707—67—35

И.В. Емельяненко
Аспирант кафедры стратегического управления
Национального технического университета
«Харьковский политехнический институт».

Постановка проблемы

Одной из главных задач газотранспортной системы Украины является осуществление транзита газа по территории страны. Однако решение данной задачи с каждым годом становится все более проблематичным из–за изношенности основных фондов и, в частности, парка газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Решение задачи воспроизводства парка ГПА было предложено в работе [1]. Авторы проанализировали факторы и условия, которые определяют оптимальный срок эксплуатации газоперекачивающих агрегатов, норм амортизационных начислений на реновацию на перспективный период. Предложенный план воспроизводства не учитывает финансовых возможностей предприятия. В работе не учитывается структура газотранспортной системы, вследствие чего, предложенные сроки и план замены разных типов ГПА могут быть невозможны с технологической точки зрения.

Построить модель оптимизации планов развития газотранспортной системы с помощью только аналитических выражений не удается. Такая модель получается недостаточно адекватной. Оценки значений вероятности безотказной работы системы в целом и ее подсистем могут быть получены с помощью алгоритмов или имитационной модели. Для решения подобных задач в работах [2] были предложены соответствующие модели и алгоритмы, направленные на оптимизацию типажа продукции, оптимизацию планов развития производственно–экономических систем. Задачи описываются динамическими моделями с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями. В рамках задачи развития торговой деятельности фирмы, была осуществлена программная реализация модели и метода для случая однокритериальной задачи оптимизации планов развития [3].

В работе [4] предложены модель и метод многокритериальной немарковской динамической задачи выбора стратегии развития предприятия. Данная модель задачи позволяет учитывать риски процесса функционирования производственно– экономической системы. Однако метод уступок, предложенный для поиска компромиссного решения, требует субъективного задания параметров и полученное с его помощью решение может и не быть оптимальным.

Цель работы

Целью работы является разработка модели и метода решения задачи динамической многокритериальной оптимизации планов реконструкции и развития парка ГПА. В качестве критериев предлагается взять: критерий минимизации затрат на функционирование и развитие парка ГПА, и критерий максимизации вероятности безотказной работы всего газопровода.

Математическая модель задачи

Поставки газа осуществляются, как правило, в соответствии с ранее заключенным контрактом и их объемы также известны. Для выполнения контрактных обязательств в течение планового периода T необходимы производственные мощности газопровода в размере $З_t$ единиц в каждом году t, $t=\overline{1,T}$. Задана структура газотранспортной системы. Будем считать для определенности неизменной структуру системы на протяжении всего планового периода. Рассматривается структура одной ветки магистрального газопровода, схема которой представляется как система с последовательно–параллельной структурой. Она состоит из H подсистем (компрессорная станция), в каждой из которых находится одинаковое число P газоперекачивающих агрегатов (ГПА), работающих параллельно (газопровод «Союз»). Таким образом, место в системе можно задать с помощью двух индексов $i=\overline{1,P}, h=\overline{1,H}$. Вероятность безотказной работы в течение t –го года каждого из ГПА описывается переменной $r^h_{i,t}, i=\overline{1,P}, h=\overline{1,H}$, где P – количество агрегатов на одной компрессорной станции, H – количество подсистем на рассматриваемом участке газопровода. Мощность каждого ГПА – $V^h_{it}, i=\overline{1,P}, h=\overline{1,H}, t=\overline{1,T}$. Для последовательно–параллельных структур узкими и наиболее важными местами являются подсистемы, т.е. каждая компрессорная станция. Отказ одной из подсистем влечет за собой отказ работы всей системы. Поэтому необходимо задать минимально–допустимую вероятность безотказной работы каждой подсистемы– $R^h_{min,t}$. Этот показатель учитывает вероятности безотказной работы всех элементов отдельной подсистемы [5]. С помощью этого ограничения также ставится требование не только поддерживать необходимый уровень вероятности безотказной работы, но и повышать его. Такой подход по определению сроков замены и ремонта ГПА, основывающийся на вероятностях отказа ГПА, был предложен в работе [6].

В начальный момент времени планового периода производственная мощность газотранспортной системы составляет A_0, $A_0=\Phi(V^h_{i0})$. Уровень текущих затрат при этом составляет $И_0$. На протяжении планового периода основные фонды, а особенно парк ГПА, изнашиваются, что приводит к изменению текущих затрат – $И_t$. В первую очередь это касается увеличения стоимости ремонтных работ, которая функционально зависит от увеличения наработки ГПА [1]. На значение текущих затрат оказывает влияние изменение расходов на горюче–смазочные материалы (ГСМ).

В условиях постоянного подорожания энергоресурсов, а также изношенности парка ГПА встает вопрос о снижении затрат на реконструкцию и функционирование газопровода и повышения вероятности его безотказной. Таким образом первой целью реконструкции и развития парка ГПА является минимизация затрат необходимых для реконструкции и функционирования магистрального газопровода. Вторая цель – это максимизация вероятности безотказной работы функционирования системы к концу планового периода – год T. Для осуществления реконструкции и достижения поставленных целей могут быть использованы Θ мероприятий, которые в сочетании от одного до δ создают варианты развития, реализацию каждого из которых можно осуществлять в t –ом году планового периода. В качестве мероприятий, направленных на реконструкцию и развитие, рассматривают все работы, начиная от модернизации агрегатов, заканчивая работами по их полной замене на более перспективные машины. Формирование вариантов развития требует создания базы данных существующих и перспективных видов оборудования, а также перспективных технологий, которые могут быть применены в газотранспортной отрасли. Для более полной оценки экономического эффекта от внедрения плана развития необходимо ввести величину $t_н \le T$ – время начала реализации последнего варианта развития. Это обусловлено тем, что некоторые варианты развития рассчитаны на достаточно длительный срок и для оценки эффекта от их внедрения необходимо прошествие некоторого промежутка времени. В качестве единицы планового периода возьмем год.

Для каждого мероприятия заданы параметры: единовременные затраты – ω^q_r в r –ом году с начала проведения мероприятия q, $И^q_r$ – изменения текущих затрат в r –ом году с начала проведения мероприятия q, $Л^q_r$ – остаточная стоимость основных фондов, выбывающих в связи проведением мероприятия q в r –ом году с начала его проведения, V^q_r – прирост производственной мощности, в результате проведения мероприятия q в r –ом году с начала его реализации, R^q_r – коэффициент вероятности безотказной работы, соответствующий мероприятию q, в году r с начало его реализации. Тогда затраты на реализацию j –го варианта развития в году r с начала его реализации равны $\omega_{jr}=\sum_{q\in\delta}\omega^q_r$, изменение текущих затрат в этом же году составляет $И_{jr}=\sum_{q\in\delta}И^q_r$, остаточная стоимость основных фондов, выбывающих в связи с реализацией j –го варианта развития в r –ом году с начала его реализации равна $Л_{jr}=\sum_{q\in\delta}Л^q_r$. Прирост производственной мощности, в результате внедрения j –го варианта развития в r –ом году с начала его реализации, по каждому из мероприятий входящих в него описывается переменной ${}^h_iV^q_{jr}$. Коэффициент вероятности безотказной работы, соответствующий j –му варианту развития в году r с начала его реализации, по каждому из мероприятий входящих в него, задан переменной ${}^h_iR^q_{jr}$. Параметры $i=\overline{1,P}, h=\overline{1,H}$ задают место каждого из мероприятий в структуре системы. Определено g – максимальное количество лет, в течение которых может осуществляться вариант развития. Для того чтобы определить технологическую возможность внедрения того или иного варианта развития, а также пересчета необходимых параметров системы, необходимо создание адекватной имитационной модели на основе заданной структуры газотранспортной системы. С ее помощью могут быть промоделированы производственные мощности системы A_t, а также могут быть получены параметров $r^h_{i,t}$, значения которых изменяется во времени. Допустим, реконструкция и модернизация парка ГПА проводится за счет предприятия, а именно за счет денег фонда развития производства. На развитие газотранспортной системы в году t выделяются средства в размере – K_t. В начале планового периода $t=0$ в фонде развития находились деньги в размере S_0.

Модель имеет вид:

$$
\begin{gathered}
\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{M}\sum_{r=1}^{l}\omega_{jt}\alpha_{t+r-1}\beta'_{t+r-1}x_{jt}-\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{M}\sum_{r=1}^{l}Л_{jr}\alpha_{t+r-1}\beta''_{t+r-1}x_{jt}+\\
+\sum_{k=1}^{T}И_k\alpha_k\beta'''_k+\sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{r=1}^{g}И_{jr}\sum_{k=r}^{T}\alpha_k\beta'''_k x_{j1}+\sum_{r=1}^{g}И_{jr}\sum_{k=r+1}^{T}\alpha_k\beta'''_k x_{j1}+\right.\\
\left.+\ldots+\sum_{r=1}^{\min\{g,T-t_n+1\}}И_{jr}\sum_{k=t_n+r-1}^{T}\alpha_k\beta'''_k x_{jt_n}\right)+w_{пред}-Л_{пред}+И_{пред}=\\
=F_1\to\min_{x_{jt}}\quad, \qquad (1)
\end{gathered}
$$

$$\prod_{h=1}^{H}\left(1-\prod_{i=1}^{P}\left(1-\left(r_{iT}^{h}\right)\right)\right)=F_2 \to \max_{x_{jt}}, \qquad (2)$$

$$A_t \geq З_t,\ t=\overline{1,T}, \qquad (3)$$

$$S_t=\begin{pmatrix} S_{t-1}/\alpha_{t-1}+K_t-\sum_{j=1}^{M}\sum_{r=1}^{l}\omega_{jr}\alpha_{t+r-1}\beta'_{t+r-1}x_{jt}+ \\ +\sum_{j=1}^{M}\sum_{r=1}^{l}Л_{jr}\alpha_{t+r-1}\beta''_{t+r-1}x_{jt} \end{pmatrix}\alpha_t,$$

$$t=\overline{1,T},\quad S_t \geq 0, \qquad (4)$$

$$1-\prod_{i=1}^{P}\left(1-\left(r_{i,t}^{h}\right)\right)\geq R_{\min t}^{h},\ t=\overline{1,T},\ h=\overline{1,H}, \qquad (5)$$

$$x_{jt}\in\{0,1\}, j=\overline{1,M},$$

$$A_t=\Phi\left(A_{t-1},x_{jp}\right),\ j=\overline{1,M},\ p=\overline{t+1-g,t}, \qquad (6)$$

$$r_{i,t}^{h}=\Phi\left(r_{i,t-1}^{h},x_{jp}\right),\ j=\overline{1,M},\ p=\overline{t+1-g,t}, \qquad (7)$$

$$w_{пред}=\sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{g-1}\alpha_k\beta'_k\sum_{p=-g+1+k}^{0}w_{j,-p+1+k},x_{jp},$$

$$Л_{пред}=\sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{g-1}\alpha_k\beta''_k\sum_{p=-g+1+k}^{0}Л_{j,-p+1+k},x_{jp},$$

$$И_{пред}=\sum_{j=1}^{M}\left[\left(\sum_{k=1}^{T}\alpha_k\beta'''_k\right)\left(\sum_{p=-g+2}^{0}И_{j,-p+2}x_{jp}\right)+\left(\sum_{k=2}^{T}\alpha_k\beta'''_k\right)\times\right.$$

$$\times\left(\sum_{p=-g+3}^{0}И_{j,-p+3}x_{jp}\right)+\ldots+\left(\sum_{k=g-2}^{T}\alpha_k\beta'''_k\right)\left(\sum_{p=-1}^{0}И_{j,-p+g-1}x_{jp}\right)+$$

$$\left.+\left(\sum_{k=g-1}^{T}\alpha_k\beta'''_k\right)\left(И_{jg}x_{jp}\right)\right],$$

$$l=1-t+\min\left(t=g-1,T\right),$$

где $w_{пред}$ – единовременные затраты, которые должны быть сделаны в плановом периоде в связи с вариантами развития, принятыми на предыстории до года $t=1$, $Л_{пред}$ – остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в плановом периоде в связи с вариантами развития, принятыми на предыстории до года $t=1$, $И_{пред}$ – изменение текущих затрат в связи с начатыми вариантами развития на предыстории, $\alpha_k=\left(1+E_н\right)^{t_p-t}$, $E_н$ – норматив приведения разных по времени затрат и результатов, t_p – расчетный год, β'_t, β''_t, β'''_t – коэффициенты, учитывающие изменения в t – ом году в сравнении с 0–м годом единовременных затрат, остаточной стоимости основных фондов и текущих затрат, соответственно, в связи с изменением цен.

Целевая функция (1) равняется общим затратам на функционирование и реконструкцию магистрального газопровода в течение планового периода. Целевая функция (2) равняется конечной вероятности безотказной работы системы в конце планового периода. Параметры $r_{i,T}^{h}$, входящие в данную целевую функцию, получаем с помощью имитационной модели, поэтому она является алгоритмической. Ограничения (3) задают уровень производственных мощностей $З_t$ единиц в t –ом году, необходимых для выполнения договорных обязательств по транзиту газа, они также являются алгоритмическими в силу выражения (6). Ограничения (4) задают условия не превышения средств на мероприятия по развитию. Ограничения (5) – поддержание необходимого уровня вероятности безотказной работы подсистем в каждый из рассматриваемых годов планового периода. Выполнение данных ограничений проверяется с помощью имитационной модели. Использование в данной ситуации имитационной модели обусловлено зависимостью производственных мощностей газопровода, вероятности его безотказной работы при реализации j – го варианта развития от текущей структуры системы и соответствующих текущих значений параметров ее структурных элементов.

Таким образом, задача оптимизации планов развития процесса реконструкции и развития парка ГПА описывается динамической немарковской моделью (1–6), с аналитической (1) и алгоритмической (2) целевыми функциями, с алгоритмическими (3, 5) и аналитическим ограничениями, с булевыми переменными. Немарковость проявляется в том, что решение про реализацию какого–либо варианта в году , будет оказывать влияние на состояние системы в годах t, t+1, $t+2$, ..., $t+g-1$.

Метод решения задачи

Для решения поставленной задачи разработан метод, основанный на методе неявного перебора, преложенного в работе [3], в сочетании с методом ограничений [7] для поиска компромиссных решений в задачах многокритериальной оптимизации.

В процессе решения задачи (1–7) потребуется решение однокритериальных задач (1), (3–7) и (2), (3–7). Для их решения необходимо вычисление соответственно нижних и верхних границ целевых функций.

Рассмотрим задачу (1), (3–7), где целью является минимизация затрат на функционирование и развитие газотранспортной системы, при условии выполнения всех ограничений задачи (3–7). Рассмотрим пропускную способность газопровода. В случае последовательно–параллельной структуры системы для обеспечения договорных обязательств необходимо, чтобы каждая h –я подсистема имела соответствующие минимально–необходимые производственные мощности $З^h$. В течении планового периода $t=\overline{1,T}$, варианты развития газопровода должны обеспечить прирост мощности каждой h –ой подсистемы хотя бы на величину:

$$\Delta З^h=З^h-A^h,\ h=\overline{1,H},$$

где $З^h=\max_t\left\{З_t^h\right\}_{t=1}^{T}$, $h=\overline{1,H}$, $A^h=\max_t\left\{A_t^h\right\}_{t=1}^{T}$.

Под A_t^h подразумеваем суммарную производственную мощность подсистемы, которая складывается из мощностей каждого ГПА $V_{it}^h, i=1,P, h=1,H$, входящих в ее состав. Тогда мощность подсистемы:

$$A_t^h=\sum_{i=1}^{P}V_{it}^h, h=\overline{1,H}, t=\overline{1,T}.$$

Затраты на реализацию j –го варианта развития, внедряемого в году t, можно определить так:

$$z_{jt}=\sum_{r=1}^{l}w_{jr}\alpha_{t+r-1}-\sum_{r=1}^{l}Л_{jr}\alpha_{t+r-1}+\sum_{r=1}^{l}И_{jr}\sum_{k=t+r-1}^{T}\alpha_k,$$

где $l=1-t+\min(t+g-1,T)$.

Из элементов z_{jt}, $j=\overline{1,M}, t=\overline{1,t_н}$ составим матрицу затрат $Z^{(M\times t_н)}$. В матрице $Z^{(M\times t_н)}$ выберем

$Z_j = \min_t \left\{z_{jt}\right\}_{t=1}^{t_н}$, $\forall\ j=\overline{1,M}$. В задаче (1), (3–7) откажемся от ограничений, наложенных на финансовые ресурсы, а также от ограничений на нижний уровень вероятности безотказной работы подсистем. Исходя из логики рассмотренной в [6], мы можем воспользоваться моделью задачи линейного программирования для определения нижней границы при решении задачи (1), (3–7).

Таким образом, при решении однокритериальной задачи, направленной на минимизацию затрат на функционирование и развитие, в процессе перебора необходимо определять нижние границы для целевой функции, т.е. определять перспективность выбранного направления перебора. Допустим в годах 1, 2, … t уже определили управления и теперь рассмотрим полученное подмножество допустимых решений. Определим минимальные величины $\Delta З^h$ для периода $t+1, t+2, ..., t_н$. Построим матрицу $Z^{(M\times(t_н - t))}$, оставив столбцы $t+1, t+2, ..., t_н$ из матрицы $Z^{(M\times t_н)}$. Найдем в ней минимальные значения:

$$^{t}Z_j = \min_i \left\{z_{ij}\right\}_{i=t+1}^{t_н}, \forall\ j=\overline{1,M}.$$

Определим общий прирост производственной мощности по каждому варианту развития для каждой подсистемы:

$$^{h}V_j = \sum_{q\in\delta}\ \sum_{i=1}^{P}\sum_{r=1}^{g} {}^{h}_{i}V_{jr}^{q}.$$

Нижняя граница на дополнительные затраты F'^{t}_{1} функции (1) может быть найдена после решения задачи ЛП, где нужно найти x_j, $j=\overline{1,M}$, минимизирующие затраты на достижения прироста производственной мощности в каждой подсистеме:

$$\sum_{j=1}^{M} {}^{t}Z_j x_j = F'^{t}_{1} \to \min$$

$$\sum_{j=1}^{M} {}^{h}V_j x_j \ge \Delta^{h}, \quad h=\overline{1,H}$$

$$x_j \ge 0, \quad j=\overline{1,M},$$

где x_j, $j=\overline{1,M}$ – варианты, минимизирующие F'^{t}_{1} – нижнюю границу прироста функции затрат на функционирование и развитие парка ГПА. Тогда нижняя граница будет равна: $F'_1 = F_1^t + F'^{t}_{1}$, где F_1^t – текущее значение функции в году t.

Для определения верхней границы для максимизируемой функции (2) F'_2 необходимо упростить задачу (2–7), а затем решить упрощенную задачу.

1. Определим наибольшее значение показателя вероятности безотказной работы из всего набора возможных мероприятий, направленных на развитие:

$$R' = \max_{r,q}\left\{R_r^q\right\}, \forall\ r=\overline{1,g}, q=\overline{1,\Theta}.$$

2. Найдем минимальный уровень единовременных затрат среди всех мероприятий по развитию:

$$W' = \min_q \left\{W^q\right\}_{q=1}^{\Theta} = \min_q \left\{\sum_{r=1}^{g}\omega_r^q - \sum_{r=1}^{g} Л_r^q\right\}_{q=1}^{\Theta}.$$

3. Определим количество средств, которые могут быть использованы на развитие с момента времени $t+1$ до времени окончания планового периода

$T:\ S_T = S_t + \sum_{i=t+1}^{T} K_i$, , при этом не учитываем механизм дисконтирования денежного потока, как и не учитываем дисконт при определении минимального объема единовременных затрат.

4. С течением времени показатели вероятности безотказной работы каждого из агрегатов меняются. Это происходит в соответствии с определенными зависимостями - $\varphi_i^h(\tau_i^h)$, $i=\overline{1,P}, h=\overline{1,H}$, где τ_i^h - наработка каждого i –го элемента h –ой подсистемы. Эти зависимости строятся на основе статистической информации относительно количества отказов работы каждого типа элементов системы, при определенной его наработке. Также, известны зависимости вероятности безотказной работы от наработки для элементов (h,i), учитываемых в соответствующих мероприятиях, входящих в варианты развития j, $j=\overline{1,M}$, начиная с момента полного ввода их в эксплуатацию - ${}^{h}_{i}\varphi^q(\tau)$. Рассчитаем значения параметров вероятности безотказной работы для всех элементов системы к моменту времени T. При этом, полагаем, что в промежутке времени $(t+1,T)$ проведение каких либо мероприятий по развитию не производится. Однако следует учесть влияние вариантов развития, принятых в годах $t=\overline{1,t-1}$. Определим множество L - множество номеров элементов (h,i), $i=\overline{1,P}, h=\overline{1,H}$ системы, которые были заменены в результате проведения мероприятий, входящих в варианты развития j, $j=\overline{1,M}$. Тогда значения вероятности отказа каждого из элементов системы можно определить как:

$$r_{i,T}^h = \begin{cases}\varphi_i^h(\tau_i^h + (T-t), r_{i,t}^h), & (h,i)\notin L\\ {}^{h}_{i}\varphi^q((T-t), r_{i,t}^h), & (h,i)\in L\end{cases}.$$

5. Общая вероятность безотказной работы системы с последовательно–параллельной структурой не может превышать наименьшего значения вероятности безотказной работы среди всех ее подсистем. Будем последовательно улучшать параметры вероятности безотказной работы подсистем (компрессорная станция), предварительно определяя ту, у которой данный параметр наименьший:

5.1 Проверяем: если $S_T - W' < 0$, то идем к пункту 6.

5.2 Найдем подсистему с наименьшим значением уровня вероятности безотказной работы:

$$\min_h\left\{1-\prod_{i=1}^{P}\left(1-\left(r_{i,T}^h\right)\right)\right\}_{h=1}^{H} = R_{min}^S,$$

где S - номер подсистемы с наименьшим значением уровня вероятности безотказной работы.

5.3 Находим в S –й подсистеме элемент с наименьшим значением вероятности безотказной работы: $\min_i\left\{r_{i,T}^S\right\} = r_{L,T}^S$, где L - номер элемента подсистемы с наименьшим уровнем вероятности безотказной работы.

5.4 Произведем замену: $r_{L,T}^S := R'$, $S_T := S_T - W'$ и переходим к 5.1.

6. Определяем верхнюю границу функции (2) для момента времени t:

$$\prod_{h=1}^{H}\left(1-\prod_{i=1}^{P}\left(1-\left(r_{iT}^h\right)\right)\right) = F'^{t}_{2} = F'_2.$$

Воспользуемся второй формулой преобразования для решения задачи оптимизации планов реконструкции и развития парка ГПА. Получим

$$w_1 = \frac{F_1(x) - F_1^0}{F_1^0} \qquad (14)$$

– для функции, минимизирующей общие затраты на функционирование и развитие газотранспортной системы;

$$w_2 = \frac{F_2^0 - F_2(x)}{F_2^0} \qquad (15)$$

– для функции, максимизирующей вероятность безотказной работы газатранспортной системы.

Сформируем новую задачу, решение которой будет минимизировать потери относительно оптимальных значений каждой целевой функции:

$$k_0 \to \min, \qquad (16)$$

$$\rho_1\left(\frac{F_1(x) - F_1^0}{F_1^0}\right) \le k_0, \qquad (17)$$

$$\rho_2\left(\frac{F_2^0 - F_2(x)}{F_2^0}\right) \le k_0, \qquad (18)$$

и удовлетворять всем ограничениям задачи (1–6), а также ограничениям (17) и (18).

Рассмотрим алгоритм решения поставленной задачи минимизации потерь:

1. Решим задачи однокритериальной оптимизации относительно функций (1), (2) и ограничений (1–7) и определим соответствующие оптимальные значения F_1^0 и F_2^0.

2. Определим исходные значения параметров. Присвоим значения

$x_{jp}, p = \overline{t+1-g, 0}, \quad j = \overline{1, M}, \quad t = \overline{1, T},$ - заданы,

$$x_{jt} := 0, \quad \forall j = \overline{1, M}, \quad \forall t = \overline{1, T},$$

$$A_t^0 := \Phi(A_{t-1}^0, x_{jp}), \quad p = \overline{t+1-g, 0}, \quad j = \overline{1, M}, \quad t = \overline{1, T},$$

$$A_t := A_t^0, \quad t = \overline{1, T},$$

$$C_t^0 := \left(\sum_{i=1}^{t} K_i + \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{t}\sum_{p=i+1-g}^{0} {}_{j,i+1-p} x_{jp} - \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{t}\sum_{p=i+1-g}^{0} \omega_{j,t+1-p} x_{jp}\right)\alpha_t,$$

$$p = \overline{t+1-g, 0}, \quad j = \overline{1, M}, \quad t = \overline{1, T}, \quad C_t := C_t^0,, \quad t = \overline{1, T},$$

$$r_{i,t}^h := r_{i,0}^h, \quad h = \overline{1, H}, \ i = \overline{1, P};$$

$$V_{it}^h := V_{i,0}^h, i = \overline{1, P}, h = \overline{1, H}, t = \overline{1, T}$$

$$F_1 := \sum_{\kappa=1}^{T} И_\kappa \alpha_\kappa + w_{пред} - Л_{пред} + И_{пред};$$

$$F_2 := \prod_{h=1}^{H}\left(1 - \prod_{i=1}^{P}\left(1 - \left(r_{i,0}^h\right)\right)\right);$$

Зададим вектор предпочтений

$$\rho = \{\rho_i\} = \{\rho_i : \rho_i > 0, i = \overline{1, 2}, \rho_1 + \rho_2 = 1\};$$

Верхняя граница при этом $k_0^* := \infty$, $W_0 := 0.$, полагаем $t := 1$,

3. Проверяем возможность обойтись без осуществления какого-либо варианта развития, при этом полагаем $j := j(t) := 0$.

4. Проверяем условия выполнения ограничений:

4.1 Если $A_i \ge {}_i$, $\forall i = t, t+1, \ldots, \min(t+g-1, T)$, то идем к шагу 6.

4.2 Если

$$1 - \prod_{i=1}^{P}\left(1 - \left(r_{i,t}^h\right)\right) \ge R_{\min t}^h, \forall i = t, t+1, \ldots, \min(t+g-1, T), h = \overline{1, H},$$

то идем к шагу 6.

4.3 Рассматриваем первый вариант развития, т.е. $j := j+1,$, $x_{jt} := 1$.

5. Выполняем последовательно следующие действия:

5.1 Используя имитационную модель вычисляем производительность газотранспортной системы A_i, $i = \overline{1, T}$: $A_t^j := \Phi\left(A_{t-1}, x_{jp}\right)$, $j = \overline{1, M}$, $p = \overline{t+1-g, t}$. При $A_t^j < З_t$, внедряя j-й вариант развития в году t мы не можем обеспечить производственные мощности, которые покроют договорные обязательства в году t, и переходим к шагу 8.

5.2 Определяем значения

$$r_{i,t}^h = \Phi\left(r_{i,t-1}^h, x_{jp}\right), \quad j = \overline{1, M}, \quad p = \overline{t+1-g, t}.$$

Вычисляем вероятность безотказной работы подсистемы (компрессорной станции) газотранспортной системы в году , и проверяем выполнение ограничений (5). Если они не выполняются, то внедряя j-й вариант развития в году t мы не можем обеспечить минимально-необходимую вероятность безотказной работы подсистем в году t и переходим к шагу 8.

5.3 Определяем финансовые ресурсы C_i^j,

$$C_i^j := \begin{cases} C_i, i < t \\ C_i + \sum_{j=1}^{M}\sum_{l=1}^{i-1+1} {}_{j,l}\alpha_l x_{jt} - \sum_{j=1}^{M}\sum_{l=1}^{i-t+1} \omega_{j,l}\alpha_l x_{jt}, i = \overline{t, \min(t+g-1, T)} \\ C_i + \sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{g} {}_{j,l}\alpha_l x_{jt} - \sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{g} \omega_{j,k}\alpha_l x_{jt_i}, i = \overline{\min(t+g, T), T} \end{cases} \qquad (19)$$

5.4 Если условие $C_i^j \ge 0$, $i = \overline{1, T}$ не выполняется, то осуществление j-го варианта недопустимо по финансовым причинам, поэтому переходим к шагу 8.

5.5 Определяем нижнюю и верхнюю границы соответственно для функций F_1 и F_2 в рассматриваемый момент времени t : F'_1, F'_2. Исходя из этих значений, определяем нижнюю границу для целевой функции – k' :

$$k' := \max\left\{\rho_1\left(\frac{F'_1(x) - F_1^0}{F_1^0}\right), \rho_2\left(\frac{F_2^0 - F'_2(x)}{F_2^0}\right)\right\},$$

сравниваем с рекордным значением. Если неравенство $k' \le k^*$ выполняется, то рассматриваемый вариант является перспективным, иначе переходим к шагу 8.

5.6 Присваиваем значения $C_t := C_t^j$, $A_t := A_t^j$, t=1,T, $r_{i,t}^h = r_{i,t}^{hj}$, $t = \overline{1, T}$.

6. Если $t < t_п$, то переходам к следующему году, т.е. полагаем t=t+1 и идем к шагу 3.

7. Вычисляем значения функций F_1, F_2 и проверяем условие выполнения неравенств (17) и (18).

7.1 Если они выполняются, то определяем значение рекорда – k :

$$k := \max\left\{\rho_1\left(\frac{F_1(x) - F_1^0}{F_1^0}\right), \rho_2\left(\frac{F_2^0 - F_2(x)}{F_2^0}\right)\right\}.$$

Если $k < k^*$, то $k := k^*$ при этом фиксируем множество WT=$\{j(t)\}_{t=1}^{T}$, иначе, если $k = k^*$ то выбираем вариант, у которого наименьшее значение суммы двух функций:

$$\min\left\{\begin{array}{l}\left(\rho_1\left(\frac{F_1(x)-F_1^0}{F_1^0}\right)+\rho_2\left(\frac{F_2^0-F_2(x)}{F_2^0}\right)\right)^*,\\ \left(\rho_1\left(\frac{F_1(x)-F_1^0}{F_1^0}\right)+\rho_2\left(\frac{F_2^0-F_2(x)}{F_2^0}\right)\right)\end{array}\right\}.$$

Если наименьшей является сумма функций у рассматриваемого плана развития, то фиксируем множество $WT=\{j(t)\}_{t=1}^{T}$.

7.2 Если $j(t)\neq 0$, исключаем внедрение j–го варианта развития и возвращаем значения $A_t, r_{i,t}^h$ и C_i:

$$C_i=\begin{cases} C_i, i<t \\ C_i-\sum_{j=1}^{M}\sum_{l=1}^{i-t+1}\omega_{j,l}x_{jt}-\sum_{j=1}^{M}\sum_{l=1}^{i-t+1}Л_{j,l}x_{jt} i=\overline{t,\min(t+g-1,T)} \\ C_i+\sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{g}И_{j,k}x_{jt}, i=\overline{\min(t+g,T),T}\end{cases} \quad (20)$$

8. Полагаем $x_{jt}=0$, при j<M, j=j+1, $x_{jt}=1$, переходим к шагу 5.

9. При t>1 пересчитываем значения

$A_{t-1}:=\Phi(A_t,x_{jt})$, $j=\overline{1,M}$,

$r_{i,t-1}^h=\Phi(r_{i,t}^h,x_{jp})$, $j=\overline{1,M}$, $p=\overline{t+1-g,t}$

и осуществляем возврат на один год, т.е. t:=t–1. Изменяем при $j(t)\neq 0$ значения $C_i, t=\overline{1,T}$. Полагаем j:=j(t) и идем к шагу 8. При t=1 и WT=0 задача не имеет решения, в противном случае оптимальное решение получено. Если WT = {0,0,....,0} – решение тривиально.

Вывод.

В результате применения предложенных модели и метода оптимизации планов развития и реконструкции парка ГПА мы получаем план действия, состоящий из набора вариантов развития, которые необходимо проводить в соответствующие годы планового периода для минимизации затрат на эксплуатацию и развитие системы, одновременно максимизируя вероятности безотказной работы газопровода. Также мы получаем количественные оценки затрат на функционирование и развитие за весь расчетный период и конечный уровень вероятности её безотказной работы. Полученные результаты целесообразно использовать при построении как ежегодных планов реконструкции и развития парка ГПА, так и при разработке стратегии развития всей газотранспортной системы.

Литература

1. Денщик Б.Ю., Денщик Н.А. Разработка отраслевой модели воспроизводства газоперекачивающего парка ГПА типа ГТК–10 с учетом факторов физического и морального старения ГПА с целью определения оптимального срока службы газотурбинного парка.// Проблемы энергосбережения. – 1996.–№1–3–с.32–51.
2. Кононенко И. В. Компьютеризация управления развитием производственно–экономических систем.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2006, – 239 с
3. И.В. Кононенко, Е.И. Чайкова, И.В. Емельяненко Оптимизация планов развития торговой деятельности фирмы//Вестник НТУ „ХПІ”– вып.11.2004.–с.118–124.
4. Кононенко И.В., Шатохина Н.В. Метод решения многокритериальной задачи формирования плана развития предприятия с учетом рисков. Открытые информационные и компьютерные технологии. – Харьков: – НАКУ, „ХАИ”– вып. 20. 2003.– С.185–193
5. Волкович В. Л., Волошин А.Ф. и др. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем. // Киев: Наук. думка, 1992–312 с.
6. Рубенян Р.С., Авдеев В. Г. Вероятностная модель восстановления газовых сетей.– Научн.–техн. и информационный сб. «Передовой производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в строительстве предприятий нефтяной и газовой промышленности» ИИЦ ВНИИПКтехоргнефтегазстрой, 1990, №3–4., с. 45–47.
7. Линейное программирование со многими критериями качества. Метод ограничений / Р. Бенайюн, О. И. Ларичев, Ж. де Монтгольфье,Ж. Терни // Автоматика и телемеханика.— 1971.— №8. — С. 108–115.